

Competitive Learning Algorithms for Codebook Design Controlling Maximum Distortion(**最大ひずみの抑制を考慮したコードブック生成のための競合学習アルゴリズムに関する研究**)

著者	三浦 健
号	304
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/10097/13004

氏名（本籍）	みうら 三浦	たけし 健	（山形県）
学位の種類	博士（情報科学）		
学位記番号	情博第304号		
学位授与年月日	平成17年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）情報基礎科学専攻		
学位論文題目	Competitive Learning Algorithms for Codebook Design Controlling Maximum Distortion（最大ひずみの抑制を考慮したコードブック生成のための競合学習アルゴリズムに関する研究）		
論文審査委員	（主査）東北大学教授 中村 維男		
	東北大学教授	出口光一郎	東北大学教授 小林 広明
	東北大学講師	鈴木 健一	東北大学講師 滝沢 寛之

論文内容要旨

1 緒論

近年の情報社会において、計算機が一般に広く普及している中で、各個人や団体が取り扱うデジタルデータはますます膨大な量になっている。また、インターネットやLANなどのネットワークを介した音声や画像などのデジタルデータの授受が頻繁になっているため、膨大なデータを効率良く通信・蓄積するコストを削減する手法が強く求められている。特に無線通信などは使用可能な帯域に制限があるため、データ圧縮への要求は強い。このような背景のもと、通信と蓄積のコストを削減するため、さまざまなデータ圧縮技術が広く用いられ研究されている。

一般に、データ圧縮技術は可逆圧縮と非可逆圧縮の二つに分類される。可逆圧縮は、元情報を完全にもとに戻せるように圧縮するが、少しの元データの欠損も許さないため、データサイズ削減能力は制限されている。これに対し、非可逆圧縮は多少のデータの欠損を許すことにより、圧縮率を大幅に高めることが可能である。そのため、画像や音声などのデータサイズが大きくかつ多少の欠損が許される分野において、非可逆圧縮は非常に重要な技術である。

量子化は非常に効果的な非可逆圧縮技術の一つである。スカラ量子化は、元データを構成している各スカラ値をそれぞれ独立に量子化することで、そのスカラ値を表すビットレートを削減する。それに対し、ベクトル量子化は、いくつかのスカラ値をベクトルとしてまとめて量子化する。複数のスカラ値をまとめて一つの符号に置き換えることで大幅な圧縮が可能である。ベクトル量子化はスカラ量子化と比較して理論的に常に同等以上の量子化性能を持ち、量子化誤差を少なくした圧縮が可能であることを多くの研究者が報告している。

ベクトル量子化を用いた符号化過程において、よく似た複数の入力ベクトルをまとめて一つのコードワードにより表現することで、誤差を小さく抑えた高効率な圧縮が可能になる。また、データの復号時には、インデクスに対応するコードワードで置換することにより元データを復元する。このように、データはコードワードに基づき符号化・復号されるため、非可逆圧縮時に発生する量子化誤差はコードワ

ードの集合であるコードブックの構成に大きく左右される．このことから，最適なコードブック生成が望まれている．

一般に，ベクトル量子化器の性能は量子化誤差の平均値である MSE と最大値である最大ひずみにより計測される．しかしながら，既存の研究の多くは MSE の最小化のみを主眼に置いているため，最大ひずみを十分に考慮したベクトル量子化手法は未だ確立されていない．このため，データの一部に重大な量子化誤差が発生する傾向がある．また，MSE の最小化に関しても局所解に陥り，MSE を十分に減少できないといった問題が残されている．

本論文では，最大ひずみをユーザの許容誤差内に抑制した中で，MSE が最小となるコードブックを生成するアルゴリズムの確立を目的とする．はじめに，ベクトル量子化の基本概念を説明し，既存のコードブック生成手法とその問題点について述べる．つぎに，本研究の土台となる MSE を最小化するための競合学習アルゴリズムを提案し評価する．最後に，最大ひずみを抑制するためのコードブック再配置機構を提案しその性能評価を行う．

2 ベクトル量子化のためのコードブック生成

本章では，ベクトル量子化の概要とその優位点，さらに既存のコードブック生成手法とその問題点について述べる．ベクトル量子化によって高効率な圧縮を行うためには，良質なコードブックを生成する必要がある．従来の一般的なコードブック生成手法は，ベクトル量子化器の平均性能を示す重要な性能測度である MSE を最小化することを目的としている．コードブック設計手法として，競合学習アルゴリズムや LBG アルゴリズムが広く用いられているが，これらのアルゴリズムには，効率的な利用がされていないコードワードを発生させる問題がある．この問題を解決するため，競合学習や LBG アルゴリズムを拡張した手法が提案されている．これらの拡張された競合学習や LBG アルゴリズムでは，処理中に部分ひずみ定理に基づいたコードワード再配置機構を付加し，あまり利用されていないコードワードを効果的に利用される領域に配置することを可能とした．

しかしながら，これらの改良方法では，実際にコードワードを再配置した場合の MSE の変化を見積もらないため，十分に MSE を減少できない可能性がある．また，たとえ MSE を最小化することが可能であっても，最大ひずみを考慮していないため，最大ひずみがユーザの許容可能な範囲を超えて大きくなってしまうおそれがある．例えば，画像圧縮においては，画像中の文字やエッジなど特徴的な領域に大きな誤差が生じる傾向があり，視覚的な画質劣化が顕著である．これらのことから，最大ひずみをユーザの許容範囲内に抑制し，その中で MSE を最小にする必要があるアルゴリズムを提案する．

3 MSE 最小化のための競合学習アルゴリズム

本章では，既存手法の問題点を指摘し，MSE 最小化のためのコードワード再配置機構を付加した競合学習アルゴリズムを提案する．従来の MSE 最小化手法においては，部分ひずみ定理に基づいて，部分ひずみが小さいコードワードを部分ひずみの大きいコードワード近傍に再配置することにより，MSE の最小化を目指している．しかしながら，再配置による MSE の変化量は，部分ひずみの大きさに依存しないため，従来の手法では MSE を十分に減少させることは困難である．

本研究では，MSE を直接的に減少させるため，コードワードの再配置による MSE の変化量を考慮したコードワード再配置機構を有する競合学習アルゴリズムを提案する．提案するコードワード再配置機構において，任意のコードワードを除去した際の MSE 増加量と任意領域にコードワード追加した際の MSE 減少量を見積もり，MSE 減少量が MSE 増加量を上回った場合にコードワードの再配置を行う．また，コードワード再配置機構による計算量の増加を低減するため，MSE 増加量と MSE 減少量の見積もりを逐次更新により近似する．

提案手法の有効性を示すために性能評価を行った。その結果、さまざまなデータセットに対し、従来のコードブック生成手法と比較して MSE をさらに減少させることが可能であった。特に、コードワード数が大きい場合においては、従来の手法と比較して、提案手法は MSE 最小化の面で良好な結果を示した。

4 最大ひずみの抑制を考慮した競合学習アルゴリズム

本章では、最大ひずみを抑制した競合学習アルゴリズムについて述べる。MSE を最小化したコードブックにおいては、特徴的かつ稀有な情報をもつ入力に対して量子化誤差が大きくなることが、多くの研究者により指摘されている。こうした問題を扱った従来の手法は、画像圧縮などの特定のアプリケーションに特化して、想定される入力データの統計的性質を利用したベクトル量子化システムが一般的である。しかしながら、従来の手法では、実際の入力が統計的性質と異なる場合、最大ひずみを十分に減少できない問題や、あるいは最大ひずみを必要以上に減少するために MSE が増大するといった問題がある。

本論文においては、ユーザが許容誤差を任意に設定し、最大ひずみを許容誤差内に抑制しつつ、その条件下で MSE を最小化するコードブックを生成するための競合学習アルゴリズムを提案する。本アルゴリズムでは、競合学習において、許容誤差を超える入力を発見し、それに対し専用のコードワードを再配置することにより目的を達成する。再配置されるコードワードは、MSE 増加量が最小となるように選択される。提案手法においては、事前に入力の統計情報を必要とせずにコードブックを生成することが期待できる。

提案手法の有効性を示すため、さまざまな実験により性能評価を行った。この結果、提案手法は最大ひずみを許容誤差以下に抑制することが可能であった。また、許容誤差が大きい場合、従来手法と比較して、提案手法は MSE をより減少させることを示した。さらに、画像圧縮において適切な許容誤差を与え、十分な数のコードワードを与えた場合、全体的な画質の劣化を伴わずに、画像中の文字などの特徴的な部位に対する著しい劣化を抑制することが可能であった。

5 結論

本論文では、最大ひずみをユーザの許容誤差内に抑制した中で、MSE が最小となるコードブックを生成するアルゴリズムの確立を目的とした。従来のコードブック生成手法の問題点を指摘し、MSE を小さくするだけでなく最大ひずみを許容誤差以下に抑制する必要性を示した。本研究では、コードブックに要求される条件を見極め、MSE 最小化のための再配置機構と最大ひずみ抑制のための再配置機構を逐次に実行する手法を提案した。さまざまなデータセットに対する実験により、わずかな MSE の増大で最大ひずみを許容誤差内に抑制可能であることを示した。ユーザは許容誤差を任意に設定できるため、提案手法を用いたベクトル量子化を広範囲なデータセットに適用可能である。

情報化が進んだ現代社会では、あらゆる分野で大量なデータの転送や蓄積が行われていることから、本研究が提案するベクトル量子化コードブック設計アルゴリズムは広く情報圧縮の分野で有用であると期待される。

論文審査の結果の要旨

ベクトル量子化は、データ圧縮の分野において有効な技術である。量子化に使用するコードブックが元データの性質に適合しているかどうかは量子化誤差に大きく影響を及ぼすため、ベクトル量子化には、良質なコードブックが必要不可欠である。ところが、一般に、良質なコードブックを解析的に生成することは困難であり、競合学習アルゴリズムによるコードブック生成が多くの研究の対象となっている。本論文は、良質なベクトル量子化コードブックを生成する競合学習アルゴリズムについて論じており、全編5章からなる。

第1章は緒論である。

第2章では、既存のコードブック生成アルゴリズムの分析と、本論文の立脚点の明確化を行なっている。まず、既存手法による各コードワードの部分歪みの均等化が不完全なことに着目し、新たなアルゴリズムの考案が可能であることを明らかにしている。さらに、コードブック性能の指標として、平均二乗誤差(MSE)に加えて、最大歪みの採用を提案している。これは、コードブックの平均的な性能を犠牲にする代わりに特徴的なデータを重視するという方針であり、ベクトル量子化の応用を考える上で、斬新な発想である。

第3章では、コードワードの再配置の際に誤差の増減を考慮することにより効果的にMSEを減少させるアルゴリズムを提案し、データ圧縮に適用した場合についての評価を行なっている。このアルゴリズムは、MSEの観点で良質なコードブックを生成できるだけでなく、誤差の増減の計算が計算量の増加を招かないように工夫されており、画期的である。

第4章では、MSEだけでなく、最大歪みの制御を考慮に入れたアルゴリズムを提案している。さまざまなデータについての性能評価から、本手法は、最大歪みを考慮することにより、データの特徴を保存するコードブックの生成が可能であることを示している。これは、これまでの競合学習アルゴリズムが放置してきた方向へのアプローチにより競合学習アルゴリズムの適用範囲を拡大するものであり、極めて重要な知見である。

第5章は、本論文を総括し、結論としている。

以上、要するに本論文は、ベクトル量子化コードブック生成のための競合学習アルゴリズムを新たな視点から論じ、応用につながるアルゴリズムの提案、実装、評価までを行なったものであり、情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報科学)の学位論文として合格と認める。